

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

## ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

## MĚŘENÍ CO<sub>2</sub> PRO SMART HOME

CO<sub>2</sub> MEASUREMENT FOR SMART HOME

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Radim Novák

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Tomáš Beneš

BRNO 2021

# Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Automatizační a měřicí technika**

Ústav automatizace a měřicí techniky

**Student:** Radim Novák

**ID:** 211166

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2020/21

**NÁZEV TÉMATU:**

## Měření CO<sub>2</sub> pro smart home

### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Práce se zabývá měřicím modulem pro měření CO<sub>2</sub> v chytré domácnosti. Cílem práce je navrhnout a sestavit elektronický modul, který toto měření bude provádět.

1. Definujte požadavky na měření CO<sub>2</sub> z pohledu požární ochrany a z pohledu vzduchotechniky.
2. Porovnejte parametry dostupných snímačů
3. Definujte požadavky na senzorický modul
4. Navrhněte a realizujte HW
5. Definujte SW požadavky
6. Implementujte SW
7. Řešení otestujte a zhodnoťte dosažené výsledky.

### DOPORUČENÁ LITERATURA:

IVANOV, B., et al. Distributed smart sensor system for indoor climate monitoring. In: KONNEX Scientific Conf., Mnchen. 2002. p. 10-11.

**Termín zadání:** 8.2.2021

**Termín odevzdání:** 24.5.2021

**Vedoucí práce:** Ing. Tomáš Beneš

**doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.**  
předseda rady studijního programu

### UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

## ABSTRAKT

Tato práce se zabývá oxidem uhličitým ( $CO_2$ ), jeho významem pro člověka a jeho měřením. V teoretické části najdete informace o jeho objevení, jeho využití v průmyslu, ale i o jeho nebezpečných účincích, koncentrací ve vzduchu, způsoby, jak tuto koncentraci měřit a jaká jsou pro to dostupná čidla na trhu. Praktická část se věnuje návrhu desky pro měření koncentrace  $CO_2$  a softwarovému řešení desky.

## KLÍČOVÁ SLOVA

$CO_2$ , oxid uhličitý, koncentrace, ppm (počet částic v jednom milionu), větrání, snímač, senzor, MCU, mikrokontroler

## ABSTRACT

This bachelor thesis deals with carbon dioxide ( $CO_2$ ), its importance for human and its measurement. In theoretical part you will find information's about its discovery, its use in industry, but also about its dangerous effects, levels of concentration in air, ways, how to measure this concentration and some sensors, that are available on the market. Practical part deals with developing of board for measuring concentration of  $CO_2$  and software solution.

## KEYWORDS

$CO_2$ , carbon dioxide, concentration, ppm (parts per milion), ventilation, sensor, MCU, microcontroller

NOVÁK, Radim. *Měření  $CO_2$  pro smart home*. Brno, 2020, 47 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Faculty of Electrical Engineering and Communication, Department of Control and Instrumentation. Vedoucí práce: Ing. Tomáš Beneš

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Měření CO<sub>2</sub> pro smart home“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno .....

.....

podpis autora

## PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Tomáši Benešlovi za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci.

# Obsah

Úvod	11
<b>1 <math>CO_2</math></b>	<b>12</b>
1.1 Objevení $CO_2$	12
1.2 Výskyt $CO_2$	12
1.3 Využití $CO_2$	13
1.4 Proč se zabývat množstvím $CO_2$	14
<b>2 Měření <math>CO_2</math></b>	<b>16</b>
2.1 Jak často měřit	16
2.2 Čím měřit koncentraci $CO_2$	17
2.2.1 Detekční trubičky	18
2.2.2 Optický IR senzor	19
2.2.3 Elektrochemický senzor	19
2.2.4 Polovodičový senzor	20
<b>3 Přehled dostupných snímačů</b>	<b>22</b>
3.1 T6615-F	22
3.2 MH-Z14	22
3.3 T3022	22
3.4 COZIR-LP	23
3.5 T6713	23
3.6 MG811	23
3.7 T6615-10K	24
3.8 T6615-50K	24
3.9 Použití těchto snímačů	25
<b>4 Komunikační sběrnice</b>	<b>26</b>
4.1 UART	26
4.2 CAN	26
<b>5 Praktická část</b>	<b>29</b>
5.1 Popis modulu	29
5.2 Blokové schéma	29
5.3 Použité komponenty	30
5.3.1 MCU	30
5.3.2 Senzor	30
5.4 Návrh hardwarové části	30

5.4.1	Požadavky na rozměr . . . . .	30
5.5	Napájení . . . . .	31
5.5.1	Spínací část . . . . .	31
5.5.2	Schéma zapojení . . . . .	31
5.5.3	Výsledný design plošného spoje . . . . .	31
5.6	Návrh softwarové části . . . . .	32
5.6.1	Základní popis . . . . .	32
5.6.2	Struktura softwaru . . . . .	33
5.6.3	Sensor system . . . . .	33
5.6.4	Signalization system . . . . .	38
<b>6</b>	<b>Změřené průběhy koncentrace</b>	<b>39</b>
	<b>Závěr</b>	<b>42</b>
	<b>Literatura</b>	<b>44</b>
<b>7</b>	<b>Přílohy</b>	<b>46</b>
7.1	Design plošného spoje . . . . .	46
7.2	Obsah přiloženého CD . . . . .	46
7.3	Schéma zapojení . . . . .	46



# Seznam obrázků

2.1	Detekční trubičky . . . . .	18
2.2	Optický IR senzor . . . . .	19
2.3	Elektrochemický senzor . . . . .	20
2.4	Polovodičový senzor . . . . .	21
4.1	Formát datového rámce . . . . .	26
4.2	Propojení UART zařízení . . . . .	27
5.1	Blokové schéma systému . . . . .	29
5.2	Spínací část . . . . .	32
5.3	Neosazený plošný spoj . . . . .	32
5.4	Osazený plošný spoj . . . . .	33
5.5	Výsledný plošný spoj se senzorem . . . . .	33
5.6	Struktura SW . . . . .	34
6.1	Průběh hodnot koncentrace $CO_2$ přes den s otevřeným oknem . . . .	39
6.2	Průběh hodnot koncentrace $CO_2$ při náročné fyzické aktivitě . . . .	40
6.3	Průběh hodnot koncentrace $CO_2$ přes noc . . . . .	40
6.4	Průběh hodnot koncentrace $CO_2$ při větrání . . . . .	41
7.1	Návrh desky . . . . .	46
7.2	Schéma zapojení . . . . .	47

# Seznam tabulek

1.1	Účinky koncentrací $CO_2$	15
2.1	CO2 v místnostech	17
2.2	Spotřeba vzduchu	18
5.1	Příkazy pro komunikaci s senzorem	34
5.2	Formát odeslané zprávy	35
5.3	Formát přijaté zprávy	35

# Úvod

Oxid uhličitý, nebo-li  $CO_2$  je bezbarvý plyn nezbytný pro život na Zemi. Nalézá i skvělé uplatnění v průmyslu, ale může být také velmi nebezpečný. Jeho větší koncentrace potlačuje kognitivní funkce člověka, jako je například pozornost a koncentrace, při velmi vysokých koncentracích může způsobit i smrt.

Oxid uhličitý se tedy přirozeně nachází ve vzduchu, kde je jeho koncentrace neškodná. Navíc ho člověk produkuje dýcháním a ve špatně větraných místnostech dochází k rychlému nárůstu úrovně tohoto plynu a typicky začne člověk pociťovat únavu. Jeho měření by proto mělo být důležité hlavně v místnostech s větším výskytem osob, jako jsou školy a kanceláře. Ovšem stále mnoho lidí nemá tušení o nebezpečí, které může tento plyn způsobit.

Tato práce by měla čtenáře seznámit se všemi nebezpečnými účinky i hodnotami koncentrace, ve kterých k těmto účinkům dochází. Hodnoty koncentrace ovšem člověku moc neřeknou a proto, je zde kladen větší důraz na typickou dobu, za jak dlouho lidé vydýchají nebezpečné množství  $CO_2$  do vzduchu v různě velkých bytových místnostech, při různém počtu lidí v nich a také podle druhu náročnosti aktivity, kterou zde provádějí.

Praktickou částí je navržení desky pro měření tohoto plynu, je zde rozebrán návrh, vysvětlena funkčnost a schéma zapojení.

# 1 $CO_2$

Oxid uhličitý ( $CO_2$ ) je bezbarvý plyn bez chuti a zápachu, který je běžnou součástí zemské atmosféry. Mezi nejvýznamnější antropogenní zdroje uhlíku patří jakékoliv spalování uhlíkatých látek (od dopravy, průmysl, k domácím topeništím) a jeho úniky z výrobků, ve kterých je obsažen. V atmosféře oxid uhličitý pohlcuje infračervené záření a přispívá tak ke vzniku tzv. skleníkového efektu. Běžné koncentrace oxidu uhličitého jsou neškodné.

Oxid uhličitý je v podstatě jediným přirozeným zdrojem uhlíku pro veškerý život. Je tvořen dvěma atomy kyslíku a jedním atomem uhlíku. Při ochlazení pod  $-80^\circ C$  plynný  $CO_2$  mění své skupenství za vzniku tuhé látky (desublimuje), která se nazývá suchý led. Oxid uhličitý má asi 1,5-krát vyšší hustotu než vzduch, proto má ve vyšších koncentracích tendenci hromadit se při zemi. Je dobře rozpustný ve vodě, přičemž se zčásti (asi z 0,003 %) slučuje s vodou na kyselinu uhličitou. Je nehořlavý a z chemického hlediska se jedná o velmi stabilní látku, která se znatelně nerozkládá ani při teplotách přesahujících  $2000^\circ C$ . Relativní obsah oxidu uhličitého v atmosféře se pohybuje okolo 0,04 %. [1]

## 1.1 Objevení $CO_2$

Oxid uhličitý byl první chemickou sloučeninou, která byla popsána jako plyn odlišný od vzduchu. V 17. století vlámský chemik Jan Baptist van Helmont zjistil, že při spalování dřevěného uhlí v uzavřené nádobě, je váha zbylého popele menší než hmotnost spalovaného uhlí. Vysvětlil to přeměnou části uhlí na neviditelnou substanci.

V polovině 18. století studoval vlastnosti tohoto plynu podrobněji skotský lékař Joseph Black. Zjistil, že zahříváním vápence, nebo jeho reakcí s kyselinami vzniká plyn, který nazval „fixovatelný vzduch“, protože jej bylo možno vázat silnými zásadami. Zjistil také, že je těžší než vzduch. Potvrdil, že na rozdíl od vzduchu nepodporuje hoření a živé organismy v něm hynou. Vázání na hydroxid vápenatý použil k důkazu, že je ve vydechovaném vzduchu a také, že se uvolňuje při procesu kvašení. [2]

## 1.2 Výskyt $CO_2$

Jak již bylo uvedeno, oxid uhličitý je přirozenou složkou zemské atmosféry (v přibližně 0,04 % koncentraci), přičemž jeho koncentrace v ovzduší kolísá v závislosti na místních podmínkách, na výšce nad povrchem a relativní vlhkosti vzduchu v ovzduší. Na roční kolísání koncentrace  $CO_2$  má také výrazný vliv vegetační sezóna,

kdy jsou roční maxima dosahována přibližně v květnu a minima naopak v říjnu. Tento jev souvisí s vrcholem, respektive útlumem produkce rostlinné biomasy na severní polokouli, která hraje v tomto ohledu kvůli většímu podílu pevnin a tedy i větší rostlinné produkci, významnější roli než polokoule jižní.

Oxid uhličitý se uvolňuje do ovzduší při každém spalování. Právě spalování fosilních paliv jako je uhlí a ropa, vede k jeho značnému nárůstu v atmosféře. Od počátku průmyslové revoluce vzrostla koncentrace  $\text{CO}_2$  přibližně o 30%. Zdrojem oxidu uhličitého je také dýchání většiny živých organismů.

V dobách utváření zemské atmosféry se dostával oxid do ovzduší především díky výrazné vulkanické aktivitě, v dnešní době však tento zdroj představuje pouze jedno až dvě procenta ve srovnání s emisemi  $\text{CO}_2$  plynoucích z lidských aktivit.

O odstraňování oxidu uhličitého z atmosféry se starají zejména rostliny a další autotrofní organismy, které ho využívají při fotosyntéze. Z tohoto hlediska je pro zachycování oxidu uhličitého nejvýznamnější mořský fytoplankton a také velké lesní ekosystémy. Masivní odlesňování je tak jedním z faktorů, který vede ke zvyšování celkového podílu  $\text{CO}_2$  ve vzduchu.

Velké množství oxidu uhličitého je také rozpuštěno ve světových mořích a oceánech, které tak regulují jeho množství v atmosféře. Jeho pozvolný globální nárůst však negativně ovlivňuje rozpustnost  $\text{CO}_2$  v mořské vodě a pozitivní zpětnou vazbou se tak dostává zpět do vzduchu další dodatečné množství tohoto skleníkového plynu. [1]

## 1.3 Využití $\text{CO}_2$

Oxid uhličitý je naprosto nezbytný pro život na Zemi, protože patří mezi tak zvané skleníkové plyny. Ty zabraňují úniku určité části tepla vytvořeného slunečními paprsky zpět do vesmíru. Dále je využíván v řadě procesů, kde se uplatňují jeho fyzikální a chemické vlastnosti.

Jednou z typických aplikací je extrakce oxidem uhličitým. Vzhledem ke stabilitě molekuly oxidu uhličitého nedochází k chemické interakci s extrahovanými látkami. Toho se využívá hlavně v potravinářském průmyslu, kde je nutno při zpracování zachovat vitamíny a jiné cenné látky, které jsou nestabilní při vyšších teplotách. Další výhodou je náhrada organického rozpouštědla, které může představovat zdravotní rizika, rozpouštědlem netoxickým a velmi těkavým. Nejznámějším procesem je extrakce chmele pro použití v pivovarnictví. Odhaduje se, že tímto postupem se získává polovina světové produkce chmelového extraktu. Další aplikací je odstraňování kofeinu z kávy a čaje. S výhodou se uvedená extrakce uplatňuje i při zpracování dalších přírodních materiálů, kdy se např. z koření a bylin získávají aromatické látky, éterické oleje apod.

Oxid uhličitý se běžně používá v nápojovém průmyslu nejen při výrobě sycených nápojů, ale často také jako ochranná atmosféra při jejich přepravě a uchovávání v provozech i při stáčení. Eliminuje se tak škodlivé působení kyslíku, který nepříznivě ovlivňuje senzorickou stabilitu a trvanlivost výrobku.

Oxid uhličitý se využívá i při čištění textilií. Protože textilie nejsou v kontaktu s organickým rozpouštědlem, díky tomu se může jejich životnost prodloužit o 30–40 %.

Impregnace dřeva super kritickým oxidem uhličitým nahrazuje vodné impregnační roztoky i systémy s organickými rozpouštědly. Odpadá sušení a výhodou je i velká penetrační schopnost.

Oxid uhličitý je používán též jako hnací plyn ve sprejích. Nahrazuje chlorofluorované uhlovodíky, které poškozují ozonovou vrstvu.

V neposlední řadě nachází oxid uhličitý uplatnění v hasicích přístrojích. Jeho účinek je kombinovaný. Jednak ve formě sněhu (suchého ledu) ochlazuje plamen, jednak vzhledem k tomu, že je těžší než vzduch, vytváří nad hořícím předmětem ochrannou atmosféru, která zabraňuje přístupu kyslíku. Oxid uhličitý je nevodivý, lze jím tedy hasit i elektrická zařízení pod proudem. Při hašení nevznikají další škodlivé látky a nezůstávají rezidua jako při používání hasicích přístrojů pěnových či práškových. Lze jej tedy použít při hašení požárů ve skladech potravin nebo v archivech, neboť nedojde ke znehodnocení skladovaného materiálu a předmětů, jež nebyly požárem zasaženy.

Oxid uhličitý je využitelný i jako chladicí médium. Např. v potravinářství se s výhodou používá tzv. kryogenní šokové zmrazování kapalným oxidem uhličitým, které je velmi šetrné a dobře zachovává vzhled i chuť potravin po rozmrazení. [3] [4]

## 1.4 Proč se zabývat množstvím $CO_2$

Při větším výskytu  $CO_2$  dochází k potlačení kognitivních funkcí člověka. Jedná se o pozornost, koncentraci, paměť, prostorovou orientaci a podobně. V atmosférickém vzduchu je zhruba 250 - 400ppm  $CO_2$ , v dobře větraných vnitřních prostorech se hladina  $CO_2$  pohybuje mezi 400 - 1000ppm ( 0,04 - 0,1%), obě tyto hodnoty jsou pro člověka neregistrovatelné a jsou v pořádku. V ČR je doporučena maximální hodnota koncentrace  $CO_2$  v vnitřních prostorech na 1500ppm (0,15%). Ovšem tato hodnota je běžně několikanásobně překračována. Přehled účinků koncentrací  $CO_2$  nalezneme v tabulce 1.1.

Tab. 1.1: Akutní zdravotní účinky vysokých koncentrací  $CO_2$  (Data jsou z normy ČSN ISO 6183)

Koncentrace $CO_2$ [%]	Doba vystavení	Účinky
2	několik hodin	bolest hlavy, dušnost při mírné únavě
3	1 h	dilatace mozkových krevních cév, zvýšená plicní ventilace a zvýšený přívod kyslíku do tkání
4-5	několik minut	mírná bolest hlavy, pocení a dušnost v klidovém stavu
6	několik minut méně než 16 min několik hodin	sluchové a zrakové poruchy bolest hlavy a dušnost třesy
7-10	několik minut  1,5 min až 1 h	bezvědomí nebo krátké bezvědomí bolest hlavy, zvýšená srdeční frekvence, dýchavičnost, mdloba, pocení a zrychlené dýchání
10-15	1 minuta nebo více	mdloba, netečnost, prudké svalové záškuby a bezvědomí
17-30	méně než 1 minuta	ztráta kontrolované a záměrné činnosti, bezvědomí, křeče, hluboké bezvědomí a smrt

## 2 Měření $CO_2$

Měření hodnot koncentrace  $CO_2$  je nezbytně nutné v prostorách, kde dochází ke zvýšené produkci tohoto plynu. Jedná se například o síla, vinné sklípky a pivovary. Dále se také hodnoty koncentrace měří v budovách s větším výskytem lidí. Například ve školách a velkých kancelářích, kde jsou tyto hodnoty používány i pro případné ovládání vzduchotechniky.

### 2.1 Jak často měřit

Dostupná čidla na trhu měří v různých periodách, některá měří každé 2 vteřiny, jiná jednou za minutu. V určitých prostorách je nezbytné měřit, co nejčastěji, ale v domácím prostředí, kde největším producentem  $CO_2$  do ovzduší je člověk by to nebylo nutné. Uvažujme panelákový byt 3+KK v němž jsou všechny místnosti vyvětrány a je v nich čistě atmosférický vzduch, který obsahuje 0,04%  $CO_2$ . Na následujícím příkladu si ukážeme výpočet doby, za kterou dosáhneme typických hodnot  $CO_2$ , které mají vliv na člověka, více o těchto hodnotách koncentrace v kapitole 1.4.

Vezmeme pro začátek obývací pokoj s rozměry 3,3m x 5m x 2,6m. Objem této místnosti je 42,9 m<sup>3</sup>, je zde tedy 42900l vzduchu. Uvažujeme, že v místnosti se nejčastěji budou nacházet 2 osoby, které zde budou relaxovat (budou v klidu). Spotřeba vzduchu každého z nich bude podle tabulky 2.2 10l/min. Vzduch, který vydechuje člověk obsahuje 17%  $CO_2$ . Tedy za každou minutu se do vzduchu dostane 3,4l  $CO_2$ .

Doporučená hodnota koncentrace  $CO_2$  ve vnitřních prostorech je 0,15%, je to hodnota zdraví bezpečná, ale u některých jedinců se může projevovat pocit vydýchaného vzduchu a případně únava. Této koncentraci odpovídá 64,35l  $CO_2$  ve vzduchu. Již na začátku je v místnosti 17,6l  $CO_2$  ve vzduchu, zbylých 47,19l  $CO_2$  dva lidé vydýchají za pouhých 13,8 minut.

První zdraví nebezpečné účinky na člověka přichází při 2% koncentraci  $CO_2$ . V takové místnosti to odpovídá 858l  $CO_2$ . Atmosférický vzduch, který je v místnosti už na začátku obsahoval 17,16l  $CO_2$ . Zbylých 840,84l vydýchají dva lidé za 247 minut, což je 4,1 hodin.

Jako životu nebezpečnou koncentraci budeme považovat 7%, protože již při ní může člověk upadnout do bezvědomí. Takové koncentraci odpovídá v našem případě 3003l  $CO_2$ , tak velké množství by dva lidé v místnosti vydýchali po 14,6ti hodinách. Uvažujeme situaci, kdy je místnost dokonale utěsněna a již v ní nedochází k výměně vzduchu s okolím. V praxi by to tedy trvalo ještě delší dobu, díky alespoň minimální výměně vzduchu. Přehled výpočtů pro ostatní teoretické místnosti v tabulce 2.1.



Tab. 2.1: Rychlost produkce  $CO_2$  v různých místnostech

Místnost	Obývací pokoj	Kuchyň	Ložnice	Dětský pokoj
Objem vzduchu [l]	42900	28314	30888	42042
Počet lidí v místnosti	2	1	2	1
Spotřeba vzduchu [l/min]	20	20	10	10
Čas do 0,15% koncentrace $CO_2$ [min]	13,8	9,1	9,9	13,6
Čas do 2% koncentrace $CO_2$ [h]	4,1	2,7	2,9	8,1
Čas do 7% koncentrace $CO_2$ [h]	14,6	9,7	10,5	28,7

Uvažujme situaci, kdy dorazí početná návštěva a v obývacím pokoji bude najednou 10 lidí místo 2. Produkce  $CO_2$  bude nyní 5-krát větší, tedy 17l  $CO_2$  za minutu. Při takovém počtu lidí bychom se dostali na komfortní hladinu (0,15%) už za necelé 3 minuty, na 2% za 49 minut a na 7% za 3 hodiny. Jak tedy správně nastavit periodu měření abychom byli schopni včas začít větrat, či spustit klimatizaci a zachovat komfortní hladinu  $CO_2$ . Jak již bylo zmíněno, na komfortní hladinu se dostaneme za necelé 3 minuty, přesněji za 2 minuty a 47 vteřin, pokud by zde nedocházelo k žádné výměně vzduchu. Nejideálnější by bylo, aby po celou dobu pobytu takto velkého množství lidí v místnosti byla otevřená okna nebo spuštěná klimatizace. Pokud by ovšem k tomu mělo dojít na základě změřených hodnot koncentrace  $CO_2$ , tak by bylo nutné měřit v intervalech ne delších než 15 vteřin, aby se zachytilo rychle rostoucí množství  $CO_2$  ve vzduchu a lidé v místnosti měli čas na otevření oken nebo spuštění klimatizace.

## 2.2 Čím měřit koncentraci $CO_2$

Přístrojů pro měření koncentrace  $CO_2$  je velké množství. Jsou rozděleny do několika skupin. Podle charakteru jejich použití se dělí na:

- přenosné
- stacionární

Podle způsobu měření je dále možné rozdělení přístrojů na přístroje pro:

- měření okamžité koncentrace
- kontinuální měření [7]

Tab. 2.2: Spotřeba vzduchu při různých zátěžích [6]

Aktivita	Spotřeba vzduchu
klid	8-10 l/min
chůze	15-20 l/min
Zrychlený pohyb	20 - 30 l/min
Středně těžká práce	30 - 40 l/min
Těžká práce	40 - 50 l/min
Extrémní zátěž	50 - 120 l/min

### 2.2.1 Detekční trubičky

Jedná se o jednoduché zařízení pro měření okamžité koncentrace. Měření se provádí tak, že se detekční trubičkou pomocí mechanické nebo elektrické pumpy nasaje definovaný objem vzduchu, přičemž dojde vlivem chemické reakce detekční vrstvy trubičky s  $CO_2$  k jejímu zabarvení. Délka zabarvení detekční vrstvy odpovídá koncentraci  $CO_2$ . Stupnice vyznačená na trubičce udává naměřenou koncentraci.



Obr. 2.1: Detekční trubičky [5]

Zvláštním druhem detekčních trubiček jsou difuzní trubičky, které pracují bez prosávací pumpy a měří průměrnou koncentraci  $CO_2$  za časový úsek několika hodin. Průměrná koncentrace se vypočítá z délky zabarvení stupnice a času, po který se měření provádělo.

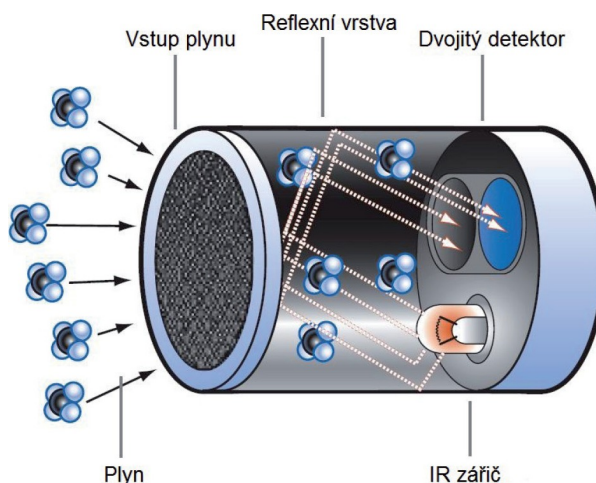
Detekční trubičky byly v minulosti prakticky jediným upotřebitelným zařízením pro terénní měření koncentrace plynů. Postupem vývoje měřicích metod přenosných elektronických přístrojů význam trubiček částečně klesá, nicméně v řadě aplikací zůstávají technicky i ekonomicky nejvhodnější metodou měření. Jednou z výhod detekčních trubiček je, že se dodávají v provedeních pro široké spektrum měřicích rozsahů. Dobrou přesnost měření koncentrace  $CO_2$  zaručují výrobci v tolerancích  $\pm 5$  až  $\pm 15$  % po celou dobu použitelnosti, která je obvykle 2 roky od data výroby. [7]

### 2.2.2 Optický IR senzor

Senzor pracuje na základě absorpce části IR spektra v molekulách  $CO_2$ . Měřítkem koncentrace je zeslabení intenzity infračerveného záření určité vlnové délky, které převádí detekční prvek – pyrodetektor na elektrický signál. Tento princip představuje nejlepší výsledky měření, vyznačuje se selektivitou, dlouhodobou stabilitou a dlouhou životností. Nevýhodou je vyšší pořizovací cena.

Postupem vývoje byly ze senzorů využívajících vlastností IR spektra eliminovány citlivé pohyblivé součásti, tlakové senzory byly nahrazeny pyrodetektory s přesnými filtry a současné kvalitní senzory zpravidla obsahují plnohodnotné kompenzační prvky. Současná pokročilá senzorová technika je z hlediska konstrukce dostatečně robustní a dovoluje nasazení bez zvláštních ohledů i v náročnějších podmínkách.

Jistým limitujícím faktorem měřicích vlastností IR senzorů je skutečnost, že vyšší koncentrace  $CO_2$  vedou k tzv. „oslepnutí“ senzoru. Více molekul je schopno pohltit prakticky veškeré IR záření sledovaných vlnových délek, což se projeví na úbytku kvality měřicího signálu v oblasti vyšších měřicích rozsahů. Vyšší přesnosti měření (pod  $\pm 5\%$ ) tak paradoxně dosahují IR senzory určené pro nižší měřicí rozsahy v řádech tisíců ppm. [7]



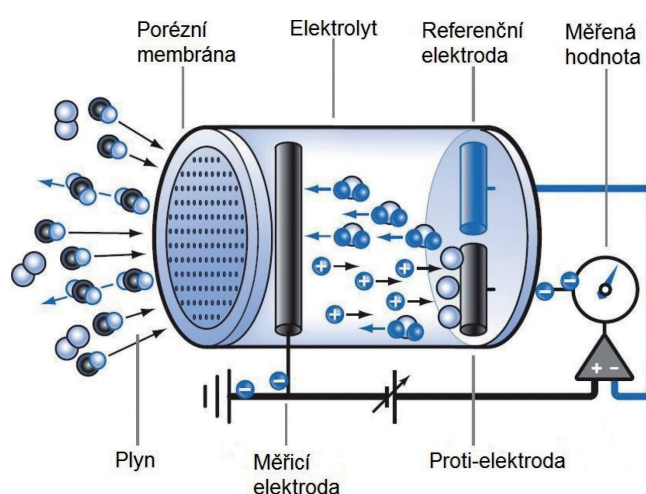
Obr. 2.2: Optický IR senzor [5]

### 2.2.3 Elektrochemický senzor

Senzor vytváří měřicí signál úměrný koncentraci sledovaného plynu, který vzniká reakcí molekul sledovaného plynu s elektrolytem, uzavřeným v těle senzoru. Materiál elektrod, elektrolyt i napětí mezi elektrodami jsou zvoleny tak, aby na měřicí elektrodě docházelo k elektrochemické reakci doprovázené vznikem volných elektronů.

Elektronika měří a zesiluje tento velice nízký proudový signál, který odpovídá koncentraci cílového plynu.

Dobré měřicí vlastnosti elektrochemického senzoru doprovází v případě  $CO_2$  nevýhoda poměrně krátké životnosti senzoru, která je cca 1 až 2 roky. Rychlejší stárnutí senzorů je způsobeno chemickými změnami vedoucími k postupnému vyčerpání elektrolytu. Pro zachování přesnosti měření je nutné změny citlivosti senzoru kompenzovat novou kalibrací. Zatímco se přesnost měření bezprostředně po kalibraci pohybuje v rozmezí  $\pm 5\%$ , mohou chyby měření již po 1 až 3 měsících přesahovat 20%. Vzhledem k potřebě častější kalibrace se elektrochemické senzory pro měření  $CO_2$  používají častěji v přenosných přístrojích, ve stacionárních systémech se téměř nepoužívají. [7]



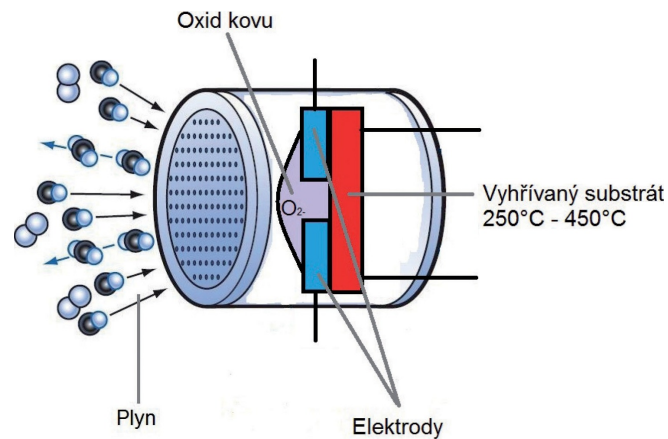
Obr. 2.3: Elektrochemický senzor [5]

## 2.2.4 Polovodičový senzor

Jedná se o nejlevnější řešení, avšak jeho měřicí vlastnosti nejsou použitelné pro určování exaktní koncentrace  $CO_2$ . Měření koncentrace je založeno na změně vodivosti polovodiče za přítomnosti cílového plynu. Použitelnými materiály jsou zejména oxidy kovů (např. oxidy zinku, cínu, wolframu, india). Na povrchu tohoto materiálu se vytvoří ve vzduchu rovnovážný stav s molekulami kyslíku, který se za přítomnosti jiného plynu poruší a způsobí změnu vodivosti.

Polovodičové senzory nejsou využitelné v bezpečnostních průmyslových aplikacích. Nízká selektivita, nelineární průběh a časová nestabilita (drift) signálu vymezují jeho použití především pro hlídání nastavených limitů a signalizaci jejich překročení, a to pouze v nízkých měřicích rozsazích.

Doménou polovodičových senzorů je, díky jejich výhodné ceně a dlouhodobé životnosti senzorů v čistém prostředí, komerční a domovní technika. V oboru senzorů pro klimatizaci a větrání jsou na trhu řešení, která potlačují některé omezující vlastnosti. Přístroje pracují například tak, že jejich elektronika po každém ukončeném cyklu větrání automaticky posune výchozí hodnotu kalibrace na aktuální měřicí signál, který se v daný okamžik považuje za hodnotu odpovídající čistému vzduchu. Takový postup dostatečně spolehlivě a účelně řeší problém driftu senzoru a minimalizuje nároky na údržbu. [7]



Obr. 2.4: Polovodičový senzor [5]

## 3 Přehled dostupných snímačů

V této kapitole budou uvedeny typické snímače různých detekčních rozsahů a cen.

### 3.1 T6615-F

Specifikace:

- Pracovní napětí: 4,75-5,25VDC
- Pracovní proud: < 33mA
- Rozsah detekce: 0-2000ppm
- Přesnost detekce: +- 75ppm
- Doba předehřívání: 2 minuty do provozuschopnosti, 10 minut do provozu při maximální přesnosti
- Rozměry: 57x35x15mm
- Použití: Správné dýchání + zvýšení komfortu
- Cena: 4885 Kč

[8]

### 3.2 MH-Z14

Specifikace:

- Pracovní napětí: 4.5-5.5VDC
- Pracovní proud: < 85mA
- Rozsah detekce: 0-5000ppm
- Přesnost detekce: +- 50ppm
- Doba předehřívání: 3min
- Rozměry [mm]: 57x35x16
- Použití: Správné dýchání + zvýšení komfortu, ochrana před nežádoucími účinky
- Cena: 1038 Kč

[9]

### 3.3 T3022

Specifikace:

- Pracovní napětí: 4,5-5,5VDC
- Pracovní proud: < 20mA
- Rozsah detekce: 0-5000ppm
- Přesnost detekce: +- 75ppm

- Doba předeřívání: 2 minuty do provozuschopnosti, 10 minut do provozu při maximální přesnosti
- Rozměry [mm]: 60x35x15
- použití: Správné dýchání + zvýšení komfortu, ochrana před nežádoucími účinky
- Cena: 2696Kč

[10]

### 3.4 COZIR-LP

Specifikace:

- Pracovní napětí: 3.5-5.5VDC
- Pracovní proud: 15mA
- Rozsah detekce: 0-5000ppm
- Přesnost detekce: +- 45ppm
- Doba předeřívání: žádná
- Rozměry [mm]: 31x19x8
- Použití: Správné dýchání + zvýšení komfortu, ochrana před nežádoucími účinky
- Cena: 5300 Kč

[11]

### 3.5 T6713

Specifikace:

- Pracovní napětí: 4,5-5,5VDC
- Pracovní proud: < 37mA
- Rozsah detekce: 0- 5000ppm
- Přesnost detekce: +- 30ppm
- Doba předeřívání: 2 minuty do provozuschopnosti, 10 minut do provozu při maximální přesnosti
- Rozměry [mm]: 30x15x8,6
- použití: Správné dýchání + zvýšení komfortu, ochrana před nežádoucími účinky
- Cena: 2450Kč

[12]

### 3.6 MG811

Modul senzoru oxidu uhličitého CO<sub>2</sub> (s analogovým výstupem, signály úrovně TTL, teplotně kompenzovaný výstup) Specifikace:

- Pracovní napětí: 5.VDC
- Pracovní proud: < 200mA
- Rozsah detekce: 350-10000ppm
- Přesnost detekce: +- 300ppm
- Doba předehřívání: 10min
- Rozměry [mm]: 40x25x34
- Použití: Ochrana před udušením
- Cena: 2109 Kč

[13]

### 3.7 T6615-10K

- Pracovní napětí: 5VDC
- Pracovní proud: < 180mA
- Rozsah detekce: 0-10000ppm
- Přesnost detekce: +- 75ppm
- Doba předehřívání: 2 minuty do provozuschopnosti, 10 minut do provozu při maximální přesnosti
- Rozměry [mm]: 57x34x15
- Použití: Ochrana před udušením
- Cena: 3043 Kč

[14]

### 3.8 T6615-50K

Specifikace:

- Pracovní napětí: 5VDC
- Pracovní proud: < 33mA
- Rozsah detekce: 0-50000ppm
- Přesnost detekce: +- 75ppm
- Doba předehřívání: 2 minuty do provozuschopnosti, 10 minut do provozu při maximální přesnosti
- Rozměry [mm]: 57x34x15
- použití: Ochrana před udušením
- Cena: 2696Kč

[15]



### 3.9 Použití těchto snímačů

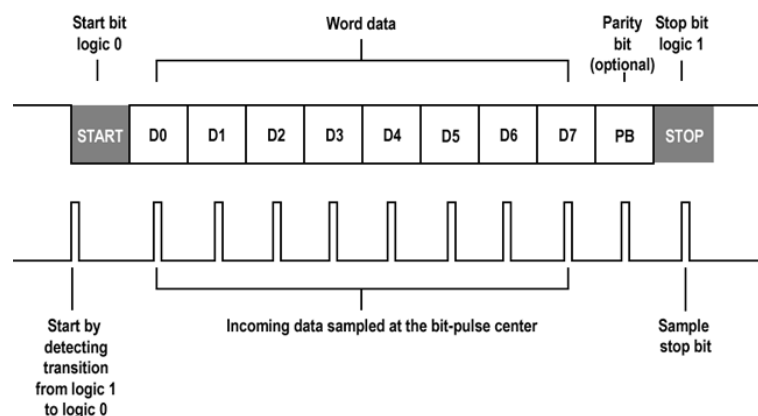
V předchozí kapitole jsou uvedeny snímače s typickými měřicími rozsahy. Tyto různé rozsahy nalézají uplatnění v různých prostředích a je tedy rozdílná potřebná perioda měření. Snímače s rozsahem 0 - 2000ppm (0 - 0,2% koncentrace  $CO_2$  ve vzduchu) se hodí pouze pro informaci o kvalitě ovzduší v místnostech, dejme tomu v tedy obytných domech. Dle tabulky 2.1 víme, že hodnotu zhruba 1500ppm  $CO_2$  v místnosti dosáhneme zhruba za 9 - 13 minut. Záleží na mnoha faktorech, na velikosti místnosti, počtu lidí v místnosti, náročnosti činnosti, kterou lidé v místnosti vykonávají. Snažíme se předejít tomu, aby došlo k překročení mezní doporučené hodnoty 1500ppm, měření by tedy mělo proběhnout alespoň jednou za 6 - 7 minut. Snímače s rozsahem do 5000ppm jsou schopny nám poskytnout informace o kvalitě ovzduší ve větším rozsahu, ale stále se nejedná o nějak zdraví nebezpečné hodnoty. Není problém dosáhnout této koncentrace například v kabině auta během delší cesty. Měření by tedy mělo proběhnout opět každých 6-7 minut. Snímače, které jsou schopny detekovat větší množství  $CO_2$  než 5000ppm už slouží k ochraně zdraví člověka, z toho tedy vyplývá jejich použití v prostorách, kde hrozí únik nebo je zde přirozeně vysoká koncentrace  $CO_2$ . Tyto snímače by tedy měly měřit v co nejmenších periodách, zpravidla v nejmenší periodě, kterou je samotné čidlo schopné měřit.

## 4 Komunikační sběrnice

V této kapitole budou popsány komunikační sběrnice, které budou využity v práci.

### 4.1 UART

Aby mohla probíhat komunikace se snímači je potřeba nějaký způsob výměny dat, nejčastěji se jedná o asynchronní sériové rozhraní UART. Hardwarová zařízení, mezi kterými probíhá komunikace mají Rx (Recevie) a Tx (transmit) piny, které jsou propojeny vodiči. TX jednoho zařízení je připojeno na RX druhého a naopak. Pro přenos dat se využívají takzvané rámce o velikosti 5 až 9 bitů. Přenos je zahájen takzvaným start bitem, který změní logickou úroveň. Při přenosu je nutné definovat takzvaný baud rate, což je rychlost přenosu, pomocí kterého se pozná, kolik hodnot stejné logické úrovně následuje po sobě. Přenos je ukončen stop bitem, který vrátí logickou úroveň na původní úroveň.

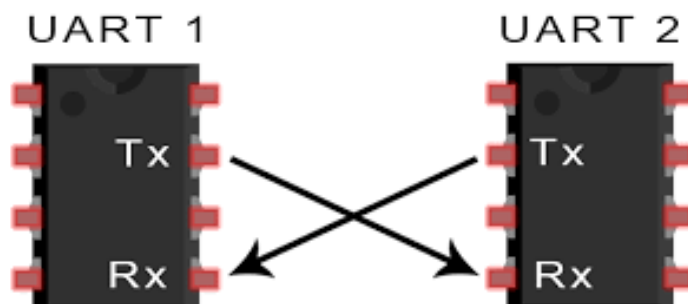


Obr. 4.1: Formát datového rámce[16]

### 4.2 CAN

V rámci větších domovních systémů je potřeba zařízení nějak připojit do systému, velmi častým řešením je CAN sběrnice. Jedná se o sériovou datovou sběrnici. CAN patří k průmyslovým komunikačním sítím označovaným jako provozní sběrnice, fieldbus.

Síťový protokol detekuje přenosové chyby vzniklé od okolních elektromagnetických polí. Data se odesílají v rámcích, každý rámec může obsahovat až 8 datových



Obr. 4.2: Propojení UART zařízení[17]

bajtů. Každý rámec obsahuje kromě datového obsahu tzv. identifikátor, sběrnice CAN nepoužívá žádnou jinou "adresu". Identifikátor definuje obsah přenášené zprávy a zároveň i prioritu zprávy při pokusu o její odeslání na sběrnici. Vyšší prioritu mají zprávy s nižší hodnotou identifikátoru. Jedna zpráva může být přijata několika zařízeními.

Datové přenosy v rámci CAN používají bezztrátovou bitovou arbitrační metodu pro stavové rozhodování. Tato arbitrační metoda požaduje, aby všechny uzly v této CAN síti byly synchronizovány a připraveny ke vzorkování ve stejnou dobu. To je důvod, proč někteří CAN nazývají synchronní sběrnici. Bohužel, termín synchronní je zde nepřesný, jelikož data jsou odesílána bez hodinového signálu, jak je tomu u obvyklého asynchronního přenosu.

Specifikace sběrnice CAN užívají termíny dominantní a recesivní (ustupující) bity, ve kterém dominantní bit je logická 0 (aktivně řízen napětím vysílače) a recesivní je logická 1 (pasivně vybitá do zdroje přes rezistor). Stav nečinnosti je reprezentován ústupovou úrovní, tím pádem logickou 1. Pokud jeden uzel vysílá dominantní bit a další uzel vysílá recesivní bit, naskytne kolize a větší prioritu má dominantní bit. To ve výsledku znamená, že zde není žádné zpoždění pro zprávy vysoké priority a uzel, který vysílal recesivní bit, se automaticky pokusí o opětovné přeposlání po šesti bitech hodinového signálu, po ukončení přenosu dominantní zprávy. Tímto se CAN stává velmi vhodným komunikačním systémem pro komunikaci v reálném čase.

Přesná napěťová úroveň pro logickou 1 a logickou 0 závisí na použité fyzické vrstvě, ale základní principy CAN požadují, aby každý uzel naslouchal data v CAN síti, včetně dat, která jsou vysílána vysílacím uzlem. Pokud je logická 1 vysílána všemi vysílacími uzly ve stejnou dobu, tak logická 1 je viděna všemi uzly, včetně vysílacích i přijímacích uzlů. Stejně tak, když je všemi vysílacími uzly ve stejnou dobu vysílána logická 0, tak všechny uzly vidí logickou 0. Vysílá-li se jedním, nebo

více uzly logická 0 a zároveň je vysílána jinými uzly logická 1, tak je logická 0 viděna všemi uzly, včetně vysílacích uzlů, které vysílaly logickou 1. Pokud uzel vysílá logickou 1, ale vidí logickou 0, uvědomí si kolizi a přestane vysílat. Užíváním tohoto principu přestane jakýkoliv uzel vysílající logickou 1 vysílat, nebo přijde o arbitraci. Uzel, který o arbitraci přišel, zařadí svoji zprávu do fronty pro opětovné odeslání v pozdější době a CAN rámec proudu dat pokračuje bez problému, dokud nevysílá pouze jeden uzel. To znamená že uzel, který jako první vysílá logickou 1 přijde o arbitraci. Poněvadž 11bitový identifikátor (nebo 29bitový pro CAN 2.0B) je vysílán všemi uzly na začátku rámce CAN, uzel s nejnižším identifikátorem vysílá více nul na začátku rámce a tak tento uzel získá nejvyšší prioritu nebo arbitraci.

[18]

## 5 Praktická část

V této části jsou popsány použité komponenty a hardwarový návrh.

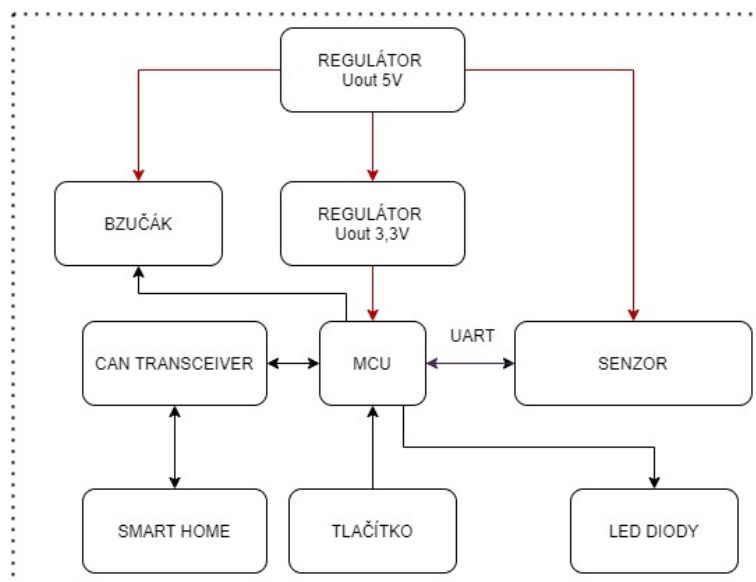
### 5.1 Popis modulu

Praktickou částí práce je návrh měřicího modulu. Tento modul je osazen mikrokontrolérem, senzorem, led diodami, tlačítkem, spínacími prvky a bzučákem. Na desce se nachází šestnácti pinový header, který by měl pokrýt možnost připojení široké škály čidel. Čtení hodnot koncentrace  $CO_2$  z senzoru realizuje mikrokontrolér. Dle vyčtené hodnoty nastaví signalizační prvek na základě uživatelem zvolené hranice pro příslušné signalizační úrovně. K dispozici jsou 4 úrovně signalizace, 3 led diody a bzučák. Tlačítko je využito jako spínací prvek pro povel senzoru k jeho kalibraci.

Takto vyrobená destička bude součástí celo domovního systému ve kterém bude realizován sběr dat měřicí destičkou. Pro komunikaci s domovním systémem je použita sběrnice CAN. Ta je vybrána pro svou rychlost přenosu, úroveň zabezpečení, spolehlivost a robustnost.

### 5.2 Blokové schéma

Na obrázku 5.1 se nachází blokové schéma navrhovaného systému.



Obr. 5.1: Blokové schéma systému

## 5.3 Použité komponenty

V následujících kapitolách budou popsány použité komponenty

### 5.3.1 MCU

Jako mikrokontrolér jsem zvolil ATSAM11E16A. Jedná se o mikrokontrolér fungující na jádře ARM Cortex M23 s velice malou spotřebou, který je vybavený sadou bezpečnostních funkcí jako je TrustZone. Podporuje rozhraní typu UART, SPI, I2C. Jeho pracovní napětí je 1,63 až 3,63V.

### 5.3.2 Senzor

V práci je použito čidlo MHZ-14. Specifikace:

- Pracovní napětí: 4.5-5.5VDC
- Pracovní proud: < 85mA
- Rozsah detekce: 0-5000ppm
- Přesnost detekce: +- 50ppm
- Doba přehřívání: 3min
- Rozměry [mm]: 57x35x16
- Použití: Správné dýchání + zvýšení komfortu, ochrana před nežádoucími účinky
- Cena: 1038 Kč

[9]

## 5.4 Návrh hardwarové části

V této části je popsán návrh hardwarové části práce.

### 5.4.1 Požadavky na rozměr

Základem bylo definovat požadavky na návrh desky po stránce rozměrů. Bylo rozhodnuto, že destička bude umístěna v přístrojové krabici KP 68, která má průměr 74mm, aby zůstala i rezerva pro bezproblémové uložení a přichycení destičky byl zvolen průměr 54mm. Byla snaha o vytvoření minimalistického návrhu, tedy využití součástek s co nejmenším pouzdrem a rozmístění součástek tak, aby bylo možné vše osadit na desku o zmíněném průměru. Schématický návrh je k nahlédnutí na obrázku 7.2

## 5.5 Napájení

Na desce se nachází několik komponent s různým požadovaným vstupním napětím. Vstupní napětí mikrokontroléru by se mělo pohybovat v rozsahu 1,83V až 3,33V. Senzor potřebuje pro svou činnost napájení 4,5V až 5,5V, bzučák 5V. Z tohoto důvodu jsem zvolil použití dvou regulátorů. První, který je zároveň vstupní, má rozsah vstupního napětí 7,5V až 35V je tím tedy pokryta široká škála napájecích možností. Jeho výstupní napětí je 5V, tuto úroveň tedy využijeme k napájení senzoru a bzučáku. Dále je použit regulátor napětí z vstupních 5V na výstupní 3,3V, tuto úroveň napětí využijeme u mikrokontroléru.

Důležité také je vybrat správný regulátor a tranzistory po stránce požadovaného odběru proudu senzorem. V jeho datasheetu senzoru se uvádí proudový odběr do 85mA, byly vybrány tranzistory, kterými může protékat proud až 130mA a regulátor má výstupní proud až 1,5A.

### 5.5.1 Spínací část

Pro spínání, připojování komponentů, je použito zapojení dvou MOSFET tranzistorů. Jeden tranzistor (tranzistor 1) má Gate připojený na MCU, na Drain 5V a Source na zem. Stejných 5V má druhý tranzistor (tranzistor 2) jak na Gate, tak na Drain, tím je zabráněno jeho sepnutí, protože se spíná při rozdílovém napětí mezi Drain a Gate o alespon 2V. Na source je připojená zátěž. Ve chvíli, kdy na tranzistor 1 přivedeme 3,3V z MCU, dojde k jeho sepnutí, čím se 5V připojí na zem, tím na Gate tranzistoru 2 bude 0V, díky čemuž tam vznikne rozdílové napětí potřebné k otevření tranzistoru a sepnutí zátěže. Popisované zapojení je k nalezení v obrázku 5.2.

### 5.5.2 Schéma zapojení

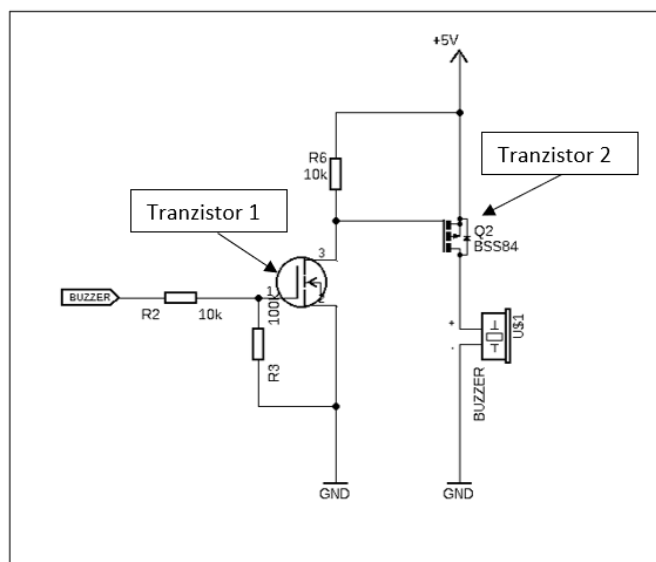
Schéma zapojení je k nalezení v obrázku 7.2 a návrh desky v obrázku 7.1.

### 5.5.3 Výsledný design plošného spoje

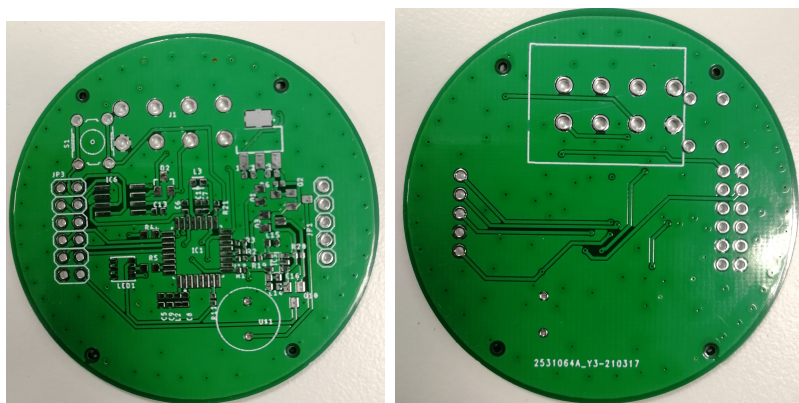
Na obrázcích v této kapitole je výsledný design navrženého plošného spoje. Na obrázcích 5.3 je vidět neosazený plošný spoj.

Na obrázcích 5.4 je již osazený plošný spoj. Na horní straně se nacházejí dva headry. Levý, šestnácti pinový, slouží k připojení čidla, pravý je pro programování mikrokontroleru.

Na obrázku 5.5 je vidět výsledný plošný spoj s připojeným senzorem.



Obr. 5.2: Spínací část



Obr. 5.3: Neosazený plošný spoj

## 5.6 Návrh softwarové části

V této kapitole je popsán návrh softwaru. Přesněji struktura programu a popis jednotlivých částí.

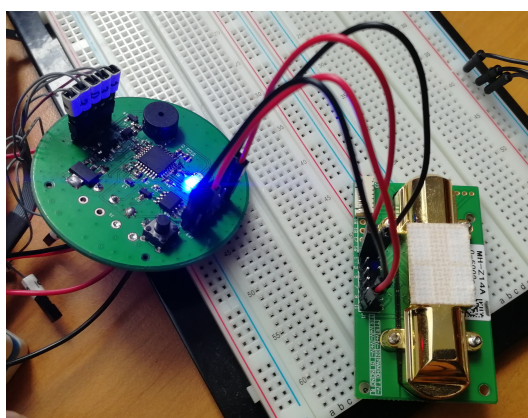
### 5.6.1 Základní popis

Cílem softwarové části je vytvořit program, který bude sloužit k vyčítání hodnoty koncentrace  $CO_2$ . Uživatel si bude moct definovat periodu měření a úrovně hodnot  $CO_2$ , které budou aktivovat příslušné signalizační prvky. Program je napsán v jazyce C a vytvořen přes vývojové prostředí Microchip studio.





Obr. 5.4: Osazený plošný spoj



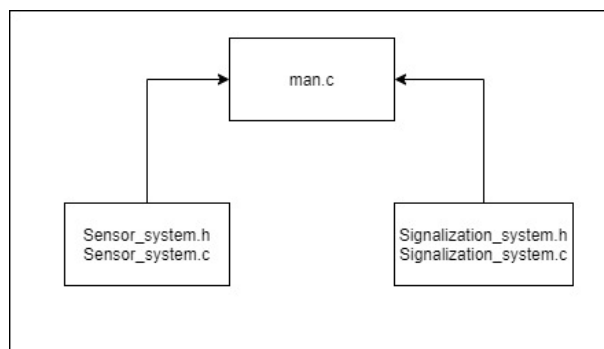
Obr. 5.5: Výsledný plošný spoj se senzorem

## 5.6.2 Struktura softwaru

Na obrázku 5.6 je zobrazena základní strukturu programu. Program je rozdělen do 2 částí. `Sensor_system` reprezentuje fyzickou komponentu senzor a všechny funkce, které umí. `Signalization_system` reprezentuje systém signalizace.

## 5.6.3 Sensor system

Tato část softwarové části reprezentuje fyzickou komponentu v podobě senzoru MH-Z14, který je v této práci využíván pro měření  $CO_2$ . Obsahuje hlavičkový soubor `Sensor_system.h` a zdrojový soubor `Sensor_system.c`. Pro práci se senzorem bylo



Obr. 5.6: Struktura SW

vytvořeno několik funkcí, pokrývajících veškeré aspekty, které bychom mohli využít při práci s tímto, či jiným senzorem. Hlavními funkcemi jsou `Send_command` a `Read message`. Tyto mnou vytvořené funkce využívají funkce knihovny `hal.io`, která slouží pro interakci s vstupně výstupními zařízeními.

### Komunikace se senzorem

Komunikace se senzorem bude probíhat přes sériový protokol UART, pomocí příkazů. V tabulce 5.3 je seznam příkazů, které jsou u čidla k dispozici.

Tab. 5.1: Příkazy pro komunikaci s senzorem

Účel příkazu	Příkaz
Požadavek na návrat hodnoty $CO_2$	FF 01 86 00 00 00 00 00 79
Kalibrace nulové hodnoty	FF 87 87 A0 00 00 00 00 F2
Kalibrace rozsahu	FF 88 88 00 00 00 00 00 F0

### Send command

Funkci `Send_command` se v parametru předává pole znaků, příslušného příkazu, který chceme odeslat čidlu. K dispozici jsou následující příkazy:

- `command_get_PPM`
- `command_zero_calibration`
- `command_span_calibration`

Samotná funkce využívá funkci `io_write`, které se v parametru předává instance sériové komunikace (v mém případě `EDBG_COM`), přes kterou má poslat příkaz, který se předává v parametru funkce `Send_command` a počet bitů ve zprávě.

```
void Send_Command (char command[])
{
    io_write(&EDBG_COM.io, command, 9);
}
```

Formát odeslané zprávy je následující:

Tab. 5.2: Formát odeslané zprávy

Byte 0	Byte 1	Byte 2	Byte 3 až 7	Byte 8
Start byte	Č. senzoru	Příkaz	volitelné bity	checksum

## Read message

Po úspěšném odeslání příkazu `command_get_PPM` senzor odpoví svou zprávou, ve které je uložena hodnota koncentrace  $CO_2$ . Tato zpráva je přečtena a uložena do proměnné pomocí funkce `Read_mesage`. Jedná se opět o jednoduchou funkci, využívající funkce knihovny `hal.io`, konkrétně `io_read`. V parametru funkce `io_read` se předává instance UART komunikace, ze které se má číst, proměnná, do které se má uložit příchozí zpráva a počet bitů k uložení. Formát návratové zprávy je následující:

Tab. 5.3: Formát přijaté zprávy

Byte 0	Byte 1	Byte 2	Byte 3	Byte 4 až 7	Byte 8
Start byte	Příkaz	High level	Low level	volitelé bity	checksum

V rámci funkce `Read_message` je vytvořena `while` smyčka, která čte vždy jeden bit, dokud se načtený znak nerovná `FF`, tak stále přepisuje první znak zprávy. Jakmile načte `FF`, tak se pomocí `for` smyčky načtou ostatní znaky do pole předaného v parametru funkce.

```
void Read_mesagge (char *received[])
{
    char ch = 0xFF;
```

```

while (ch!= 0xFF)
{
    io_read(&EDBG_COM.io, (uint8_t*) &ch, 1);
}

if (ch == 0xFF)
{
    received[0] = ch;
}
for(int b = 1; b<8, b++)
{
    io_read(&EDBG_COM.io, (uint8_t*) &received[b], 1);
}
}

```

## PPM Value

Funkce `PPM_Value` slouží k ověření validity vrácené zprávy podle bitu 9, tedy checksumu a buďto vypsání hodnoty PPM, nebo vypsání chybové hlášky. Funkce `PPM_Value` dostává v parametru pole, ve kterém provede kontrolu, zda checksum odpovídá devátému bitu zprávy. Sečte bity jedna až 8. Poté od hodnoty 0xFF odečte získaný výsledek, ke kterému následně přičte jedničku. Pokud se výsledek tohoto výpočtu nerovná checksumu je do konzole vypsáno upozornění na neplatnost zprávy. V opačném případě je ze získané zprávy vypočítána hodnota koncentrace  $CO_2$  V PPM. Při výpočtu je druhý bit (High level) a třetí bit (Low level) převeden z hexadecimální číselné soustavy do dekadické. Jakmile jsou tato dvě čísla převedená stačí je dosadit do vzorce  $PPM = 256 * (High\ level) + Low\ level$  a získáme výslednou hodnotu koncentrace  $CO_2$ .

```

void PPM_Value(char received [], int *PPM)
{
    char chescksum =0;
    char sum = received[8];
    char str[50];
    int PPM = 0;

    for (int i =1; i<8; i++)
    {
        checksum +=received[i];
    }
}

```

```

    }
    checksum = 0xFF-checksum;
    checksum +=1;

    if (checksum == sum)
    {
        int high = (int)received[2];
        int low = (int)received[3];
        *PPM = (256*high)+low;
    }
    else
    {
        snprintf(str,50, "Chybná zpráva\r\n")
        io_wrtie(&EDBG_COM.io, (uint8_t*) str, strlen(str));
    }
}

```

### Nedokonalost senzoru MH-Z14

I když checksum vyjde správně, není to záruka správně změřené hodnoty a validity zprávy. Senzor MH-Z14 má tři minutovou zahřívací dobu. Již v této době ovšem reaguje na příkazy, jako je `Command_get_PPM`, vrátí zprávu, která odpovídá všem náležitostem platné zprávy, checksum je platný, ovšem změřená hodnota neodpovídá realitě. Bohužel se nedá softwarově kontrolovat, zda se senzor stále zahřívá, nebo ne.

### Print PPM

Ve chvíli kdy v rámci kódu proběhlo veškeré zkontrolování přijaté zprávy a byla z ní vypočtena hodnota PPM je potřeba tuto hodnotu vytisknout do konzole. K tomu je využita funkce `Print_PPM`. V této funkci využívám formátovací funkci `snprintf`, pomocí které je vytvořen formát výpisu hodnoty koncentrace  $CO_2$  a následně pomocí `io_write` vytisknuta do konzole.

```

void Print_PPM(int PPM)
{
    char str [50];
    snprintf(str, 50, "\r\nPPM: %d\r\n", PPM);
    io_write(&EDBG_COM.io, (uint8_t *)str, strlen(str));
}

```

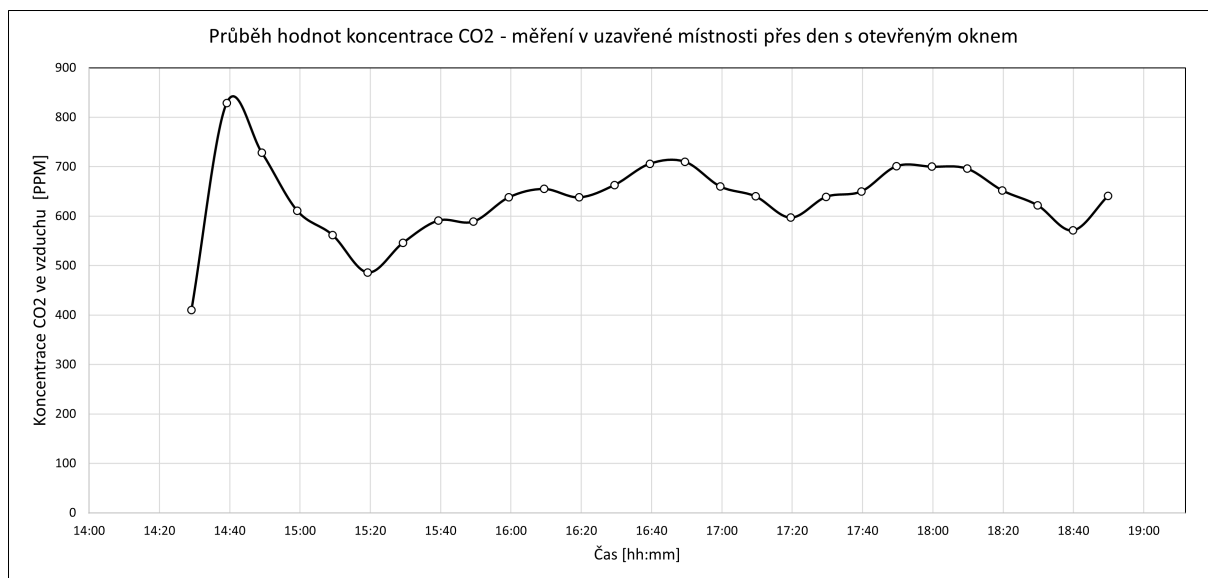
#### 5.6.4 Signalization system

Na vyrobené desce plošného spoje se nacházejí 4 signalizační prvky, se kterými se pracuje v rámci signalizace, jedná se o zelenou LED diodu, modrou LED diodu, červenou LED diodu a bzučák. V rámci souborů **Signalization\_system** se pracuje pouze s jednou funkcí a to **Signalization**, v jejíž parametru jsou čtyři int hodnoty. Hodnota PPM, tedy aktuální vypočtená hodnota koncentrace  $CO_2$  a 3 úrovně hodnot nastavené uživatelem. Pokud je aktuální hodnota PPM nižší než první úroveň předaná v parametru, tak svítí zelená LED dioda, pokud je větší než první úroveň, ale menší než druhá, tak svítí modrá LED, pokud je úroveň vyšší než druhá úroveň, ale nižší než třetí, tak svítí červená LED a pokud je aktuální hodnota větší než třetí úroveň rozezní se bzučák.

## 6 Změřené průběhy koncentrace

V této kapitole jsou výsledky měření koncentrace  $CO_2$  ve vzduchu v místnosti o objemu vzduchu zhruba 42 000l. V místnosti se vždy nacházel pouze jeden člověk.

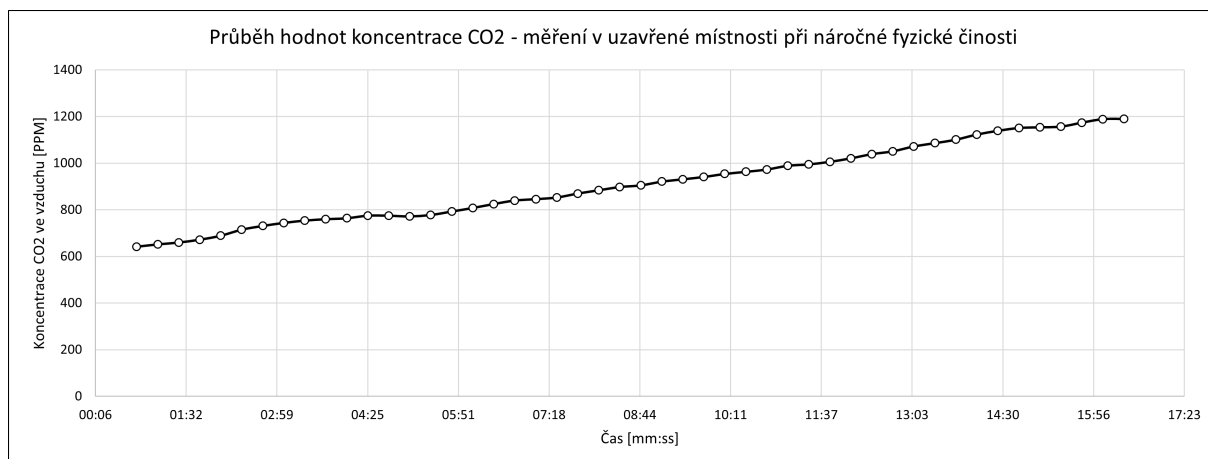
První měření, které bylo realizováno probíhalo přes den, kdy po celou dobu měření bylo otevřené jednokřídlové okno s rozměrem 1400mm x 600mm, senzor se nacházel pod oknem. Měření probíhalo s periodou 10minut. Hodnoty PPM se pohybovaly okolo 600PPM, což dle teorie není nijak nebezpečná hodnota, ovšem je vyšší, než teoretických 400PPM, které by měly být na čerstvém vzduchu. Průběh hodnot je zobrazen v grafu 6.1.



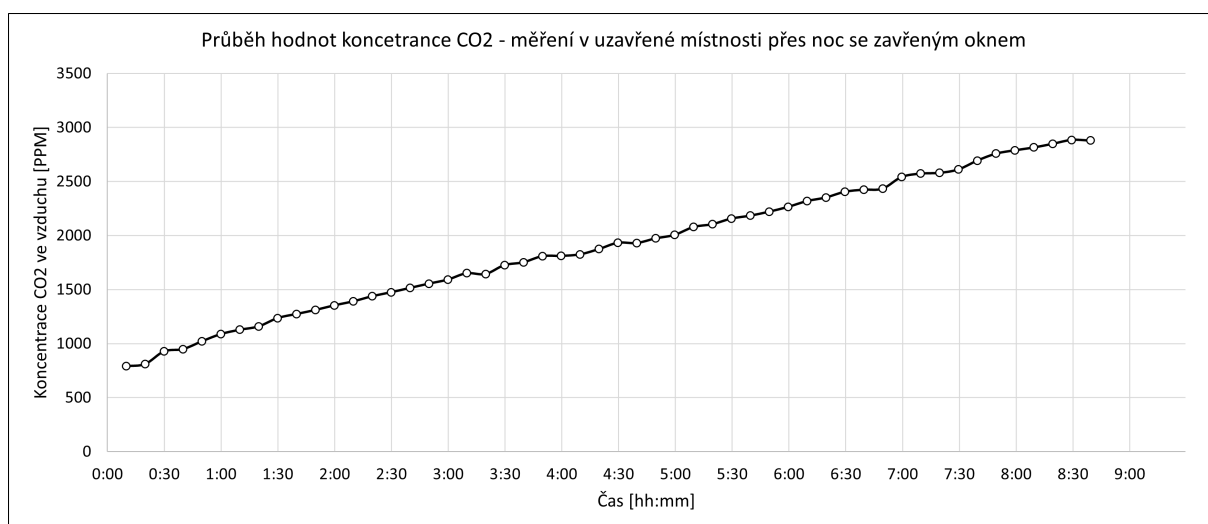
Obr. 6.1: Průběh hodnot koncentrace  $CO_2$  přes den s otevřeným oknem

Druhé měření bylo realizováno v předem vyvětrané místnosti, kde se při začátku měření zavřelo okno i dveře a byla zde vykonávána náročná fyzická aktivita. Hodnota koncentrace  $CO_2$  se během necelých šestnácti minut zdvojnásobila z 600PPM na 1200PPM. Průběh je k vidění v grafu 6.2.

Třetí měření probíhalo přes noc. Okna byla zavřená, stejně tak dveře. Během osmi hodin vzrostla koncentrace  $CO_2$  z 700PPM na 2700PPM, což odpovídá 0,27% koncentrace  $CO_2$  ve vzduchu. Jedná se už o hodnotu ve které člověk pociťuje těžko dýchatelný vzduch, ale stále se jedná o zdraví bezpečnou hodnotu. Průběh je k nalezení v grafu 6.3. Když porovnáme rychlost produkce  $CO_2$  v noci s údaji při náročné fyzické aktivitě, tak vidíme, že při spánku trvalo zhruba hodinu a půl vydýchat 500PPM, zatímco při náročné fyzické aktivitě na to stačilo přibližně 15 minut.



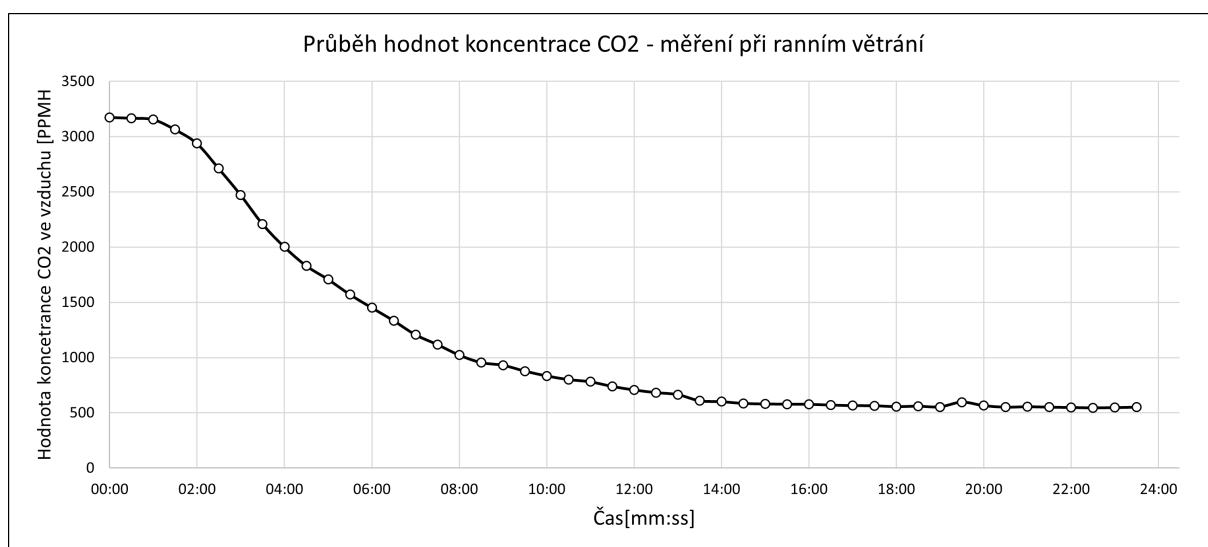
Obr. 6.2: Průběh hodnot koncentrace  $CO_2$  při náročné fyzické aktivitě



Obr. 6.3: Průběh hodnot koncentrace  $CO_2$  přes noc

Poslední měření se týkalo doby, potřebné k vyvětrání místnosti po noci. Hodnota  $CO_2$  byla na začátku měření 3175PPM, po otevření okna docházelo k exponenciálnímu klesání, díky velkému rozdílu hodnot koncentrace  $CO_2$  uvnitř místnosti a v čerstvém vzduchu. Na hodnotu 500PPM jsme se dostali po zhruba čtrnácti minutách větrání, kdy bylo otevřené jednokřídlové okno a dveře místnosti, aby vznikl průvan. Průběh je k nalezení v grafu 6.4.





Obr. 6.4: Průběh hodnot koncentrace  $CO_2$  při větrání

# Závěr

Tato bakalářská práce je rozdělena do teoretické a praktické části.

V teoretické části byla rozebrána nezbytná teorie a informace, které by měl čtenář mít o oxidu uhličitém. V teorii se dozví čtenář základní charakteristiku tohoto plynu, čím se vyznačuje, k čemu je nezbytný, jak a na co se využívá v praxi a poté jeho typické hodnoty koncentrací, jak ty neškodné, tak ty nebezpečné.

Na základě teoretických poznatků v oblasti vlivů různých hodnot koncentrace oxidu uhličitého jsem poté spočítal, za jak dlouho dojde v dokonale izolovaných místnostech k vydýchání nebezpečného množství  $CO_2$ . Uvážil jsem typické situace v podobě momentů, kdy se v domě nacházejí pouze jeho vlastníci, ale také extrémní situace při kterých dorazí velmi početná návštěva. Na základě těchto výpočtů jsem diskutoval časové intervaly měření v různých místnostech a prostorách v závislosti na způsobu využívání těchto míst.

Představil jsem 4 nejčastější technologické způsoby, které se využívají v senzorech  $CO_2$ . Dále jsem uvedl typické představitele dostupných čidel na trhu, zaměřil jsem se vždy na jeden z nejdražších a nejlevějších senzorů v typických rozsazích měření hodnot koncentrace  $CO_2$  a uvedl, kde najdou snímače daných rozsahů své nejčastější využití.

Praktická část bakalářské práce se věnuje hardwarovému návrhu desky, která složí k měření koncentrací oxidu uhličitého. Pro desku jsem vybral vhodné komponenty a navrhl jejich zapojení. Na desce se nachází MCU, dva regulátory napětí, tlačítko, tři LED diody, bzučák a headry pro připojení senzoru a programování. Návrh byl úspěšný a deska vykazuje požadované chování a díky tomu, že veškeré piny headru určeného pro připojení čidla jsou připojeny na MCU, není problém pouze upravit software a umožnit připojení dalších prvků.

Dále se praktická část skládala z softwarového řešení. Byl vytvořen funkční program pro vyčítání hodnot  $CO_2$ . MCU posílá v definované periodě příkazy pro čidlo, které na základě obdrženého příkazu vrátí měřenou hodnotu, či vykoná jinou požadovanou funkci dle příkazu. Senzor má funkci kalibrace nuly, tato funkce měla být implementována při stisku tlačítka, což i je, ale po detailnějším prozkoumání datasheetu a způsobu kalibrace bylo zjištěno, že funguje tím způsobem, že senzor 20 minut měří, z měření si spočítá průměrnou hodnotu a tu posune do nuly. Dle mého názoru toto není vhodný způsob kalibrace, protože senzor nám pak může vracet pouze přírůst hodnoty oproti průměrné. Ostatní funkce jako je nastavení signalizace dle změřené hodnoty fungují správně.

Práce s mikrokontrolérem SAML11E16 je složitá po stránce správného nastavení zabezpečení v projektu tak, aby vše fungovalo. Toto se bohužel nepodařilo a výsledný funkční kód je vytvořený na základě jednoho z example projektů, který

byl k dispozici, ani nastavení nového projektu naprosto stejně jako je tento example projekt problém nevyřešilo.

Při práci byly změřeny hodnoty koncentrace  $CO_2$  při typických situacích, které mohou nastat v běžném domácím prostředí. Teorie uvádí, že čerstvý vzduch obsahuje přibližně 400PPM, měření probíhalo v panelákovém bytě v menším městě, kde by znečištění vzduchu nemělo být tak velké, ale i tak se hodnoty koncentrace v dokonale vyvětrané místnosti pohybovaly okolo 500PPM až 600PPM. Ostatní teoretické předpoklady se potvrdily. Rychlost produkce  $CO_2$  člověkem velice záleží na charakteru činnosti, kterou vykonává a po noci by se v místnosti mělo alespoň 15 minut větrat.

V rámci shrnutí této bakalářské práce můžeme prohlásit, že všechny body zadání byly úspěšně splněny.

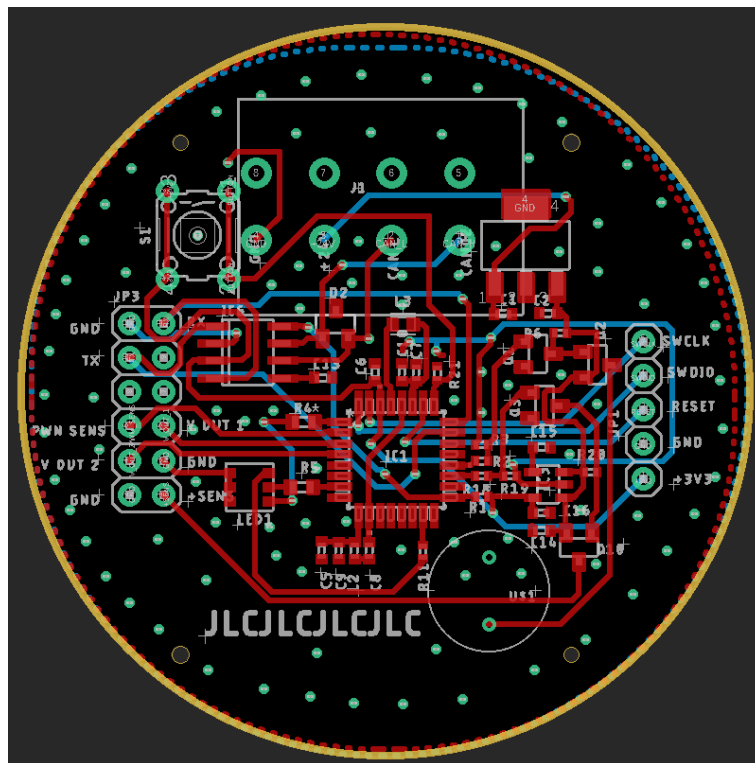
# Literatura

- [1] *Oxid uhličitý* [online]. [cit. 2020-12-29]. Dostupné z: <https://arnika.org/oxid-uhlicity> Dostupné z URL:  
<[https://cs.wikipedia.org/wiki/Oxid\\_uhli%C4%8Dit%C3%BD](https://cs.wikipedia.org/wiki/Oxid_uhli%C4%8Dit%C3%BD)
- [2] *Oxid Uhličitý: Objevení a popis. In: Wikipedia: the free encyclopedia*[online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2020-09-15]. Dostupné z URL:  
<[https://cs.wikipedia.org/wiki/Oxid\\_uhli%C4%8Dit%C3%BD](https://cs.wikipedia.org/wiki/Oxid_uhli%C4%8Dit%C3%BD)
- [3] *Oxid uhličitý a možnosti jeho využití I*[online]. [cit. 2020-09-27]. Dostupné z URL:  
<<https://oze.tzb-info.cz/teorie-obnovitelna-energie/8492-oxid-uhlicity-a-moznosti-jeho-vyuziti-i>
- [4] *Vliv CO<sub>2</sub> na změnu klimatu* [online]. [cit. 2020-09-27]. Dostupné z URL:  
<<http://www.geology.cz/ccs/technologie-ccs/zmena-klimatu>
- [5] *Tzb-info: Možnosti měření oxidu uhličitého* [online]. [cit. 2020-09-14]. Dostupné z URL:  
<<https://vetrani.tzb-info.cz/vnitрни-prostredi/13910-moznosti-mereni-oxidu-uhliciteho-merici-pristroje-a-cidla>
- [6] *Fyziologie dýchání* [online]. [cit. 2020-09-15]. Dostupné z URL:  
<<http://www.hasicinapajedla.cz/file/6/fyziologie-dychani.pdf>.
- [7] *Možnosti měření oxidu uhličitého – měřicí přístroje a čidla: Přístroje pro měření koncentrace CO<sub>2</sub>* [online]. [cit. 2020-09-15]. Dostupné z URL: <<https://vetrani.tzb-info.cz/vnitрни-prostredi/13910-moznosti-mereni-oxidu-uhliciteho-merici-pristroje-a-cidla>
- [8] *T6615-F Datasheet* [online]. [cit. 2020-09-23]. Dostupné z URL:  
<[http://www.farnell.com/datasheets/2261619.pdf?\\_ga=2.122897804.600345490.1600698725-1667403637.1600698725](http://www.farnell.com/datasheets/2261619.pdf?_ga=2.122897804.600345490.1600698725-1667403637.1600698725)
- [9] *NDIR senzor plynu MH-Z14 Oxid uhličitý CO<sub>2</sub>* [online]. [cit. 2020-09-21]. Dostupné z URL: <<https://www.laskarduino.cz/ndir-senzor-plynu-mh-z14-oxid-uhlicity-co2/>
- [10] *T3022 Datasheet* [online]. [cit. 2020-09-23]. Dostupné z URL:  
<[http://www.farnell.com/datasheets/2871794.pdf?\\_ga=2.17974590.600345490.1600698725-1667403637.1600698725](http://www.farnell.com/datasheets/2871794.pdf?_ga=2.17974590.600345490.1600698725-1667403637.1600698725)

- [11] *Sensor, COZIR-LP* [online]. [cit. 2020-10-12]. Dostupné z URL: [http://www.gassensor.ru/data/files/carbon\\_dioxide/gss-cozir-lp-co2-sensor-datasheet.pdf](http://www.gassensor.ru/data/files/carbon_dioxide/gss-cozir-lp-co2-sensor-datasheet.pdf)
- [12] *MiCS-VZ-89TE Data Sheet* [online]. [cit. 2020-09-21]. Dostupné z URL: [http://www.farnell.com/datasheets/2578451.pdf?\\_ga=2.26420410.600345490.1600698725-1667403637.1600698725](http://www.farnell.com/datasheets/2578451.pdf?_ga=2.26420410.600345490.1600698725-1667403637.1600698725)
- [13] *Detektor oxidu uhličitého CO2 MG811 s analogovým výstupem.* Arduino-shop [online]. [cit. 2020-09-21]. Dostupné z URL: <https://arduino-shop.cz/arduino/2988-detektor-oxidu-uhliciteho-co2-mg811-s-analogovym-vystupem.html>
- [14] *T6615-10K Datasheet* [online]. [cit. 2020-09-23]. Dostupné z URL: [http://www.farnell.com/datasheets/2261619.pdf?\\_ga=2.221922719.600345490.1600698725-1667403637.1600698725](http://www.farnell.com/datasheets/2261619.pdf?_ga=2.221922719.600345490.1600698725-1667403637.1600698725)
- [15] *T6615-50K Datasheet* [online]. [cit. 2020-09-23]. Dostupné z URL: [http://www.farnell.com/datasheets/2261619.pdf?\\_ga=2.227813530.600345490.1600698725-1667403637.1600698725](http://www.farnell.com/datasheets/2261619.pdf?_ga=2.227813530.600345490.1600698725-1667403637.1600698725)
- [16] *uart2UART* [online]. [cit. 2021-5-22]. Dostupné z URL: [Dostupné z: https://developer.electricimp.com/resources/uart](https://developer.electricimp.com/resources/uart)
- [17] *UART* [online]. [cit. 2021-5-22]. Dostupné z URL: <https://www.weekitech.com/2019/05/13/introduction-to-uart/>
- [18] *CAN Bus. Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2021-5-22]. Dostupné z URL: [https://cs.wikipedia.org/wiki/CAN\\_bus](https://cs.wikipedia.org/wiki/CAN_bus)

## 7 Přílohy

### 7.1 Design plošného spoje



Obr. 7.1: Návrh desky

### 7.2 Obsah přiloženého CD

- Textové dokumenty
  - BP-CO2-NOVAK.pdf
- Návrh plošného spoje
  - CO2-deska.brd
  - CO2-deska.sch
- SW
  - BP-CO2-NOVAK
  - BP-CO2-NOVAK.atstn

### 7.3 Schéma zapojení

